

This Page Is Inserted by IFW Operations
and is not a part of the Official Record

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

**As rescanning documents *will not* correct images,
please do not report the images to the
Image Problem Mailbox.**

(19)



JAPANESE PATENT OFFICE

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: **2000097786 A**

(43) Date of publication of application: **07.04.00**

(51) Int. Cl.

G01L 1/24
G02B 5/18
G02B 6/00

(21) Application number: **10271734**

(22) Date of filing: **25.09.98**

(71) Applicant: **FURUKAWA ELECTRIC CO
LTD:THE**

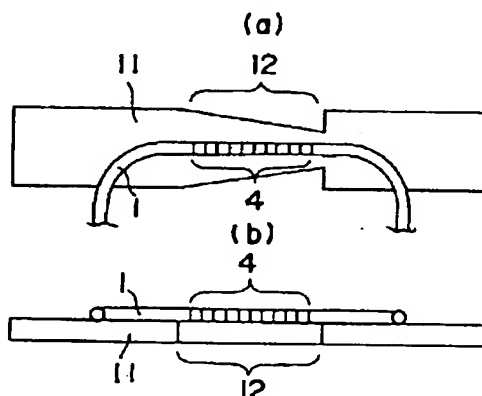
(72) Inventor: **MATSUDA YOSHIKAZU**

(54) **MECHANICAL FORCE SENSOR**

(57) Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To detect a mechanical force through a single FBG (optical fiber Bragg diffraction grating) without being affected by temperature variation by using an FBG having uniform lattice spacing.

SOLUTION: The mechanical force sensor comprises an optical fiber having an FBG 4 of uniform lattice spacing at a part in the longitudinal direction, and a tension member 11 having a part 12 generating strain upon application of a tensile force wherein the FBG 4 part of the optical fiber 1 is bonded to the part 12 of the tension member 11 generating uniform strain. Since the lattice spacing of the FBG 4 becomes uneven upon application of tensile force, bandwidth of reflected wave is widened and the tensile force can be measured from the variation of bandwidth.



COPYRIGHT: (C)2000,JPO

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2000-97786

(P2000-97786A)

(43) 公開日 平成12年4月7日 (2000.4.7)

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テーム (参考)
G 0 1 L	1/24	G 0 1 L	A 2 H 0 3 8
G 0 2 B	5/18	G 0 2 B	2 H 0 4 9
	6/00		B

審査請求 未請求 請求項の数 5 O L (全 7 頁)

(21) 出願番号 特願平10-271734

(22) 出願日 平成10年9月25日 (1998.9.25)

(71) 出願人 000005290

古河電気工業株式会社

東京都千代田区丸の内2丁目6番1号

(72) 発明者 松田 美一

東京都千代田区丸の内2丁目6番1号 古河電気工業株式会社内

(74) 代理人 100078329

弁理士 若林 広志

Fターム (参考) 2H038 AA05 AA22 BA25

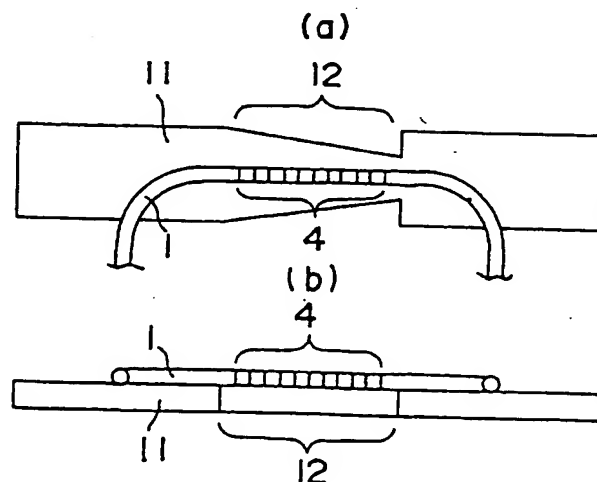
2H049 AA55 AA62 AA66 AA68

(54) 【発明の名称】 力学的力センサ

(57) 【要約】

【課題】 FBG (光ファイバブラッグ回折格子) として格子間隔の均一なものを使用して、1本のFBGで温度変化の影響を受けることなく力学的力を検知できるようにする。

【解決手段】 長さ方向の一部に格子間隔の均一なFBG 4を有する光ファイバ1と、引張力が加わると不均一な歪みが発生する部分12を有する引張部材11とからなり、光ファイバ1のFBG 4の部分を引張部材11の不均一な歪みが発生する部分12に接着固定した。引張力が加わるとFBG 4の格子間隔が不均一になり、反射波の帯域幅が広がるので、帯域幅の変化で引張力を測定できる。



【特許請求の範囲】

【請求項1】長さ方向の一部に格子間隔の均一なFBG（光ファイバブラッグ回折格子）を有する光ファイバと、力学的力が加わると不均一な歪みを発生する部分を有する歪み発生部材とからなり、前記光ファイバのFBGの部分の前記歪み発生部材の不均一な歪みを発生する部分に固定したことを特徴とする力学的力センサ。

【請求項2】歪み発生部材の不均一な歪みを発生する部分は、力学的力が加わる方向に断面積を変化させたものであることを特徴とする請求項1記載の力学的力センサ。

【請求項3】長さ方向の一部に格子間隔の均一なFBGを有する光ファイバと、圧力検知用のダイヤフラムとからなり、前記光ファイバのFBGの部分、前記ダイヤフラムの不均一な歪みを発生する部分に固定したことを特徴とする圧力センサ。

【請求項4】長さ方向の一部に格子間隔の均一なFBGを有する光ファイバと、圧力検知用のダイヤフラムとからなり、前記光ファイバのFBGの部分、前記ダイヤフラムの伸び歪みを発生する部分と縮み歪みを発生する部分にまたがるように固定したことを特徴とする圧力センサ。

【請求項5】長さ方向の一部に格子間隔の均一なFBGを有し、FBGを有する区間の断面積が長手方向に変化している光ファイバと、力学的力が加わると均一な歪みを発生する部分を有する歪み発生部材とからなり、前記光ファイバの断面積が長手方向に変化している部分の両側を前記歪み発生部材の均一な歪みを発生する部分に固定したことを特徴とする力学的力センサ。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、FBG（光ファイバブラッグ回折格子）を用いて引張力、圧縮力、圧力などの力学的力を検知する力学的力センサに関するものである。

【0002】

【従来の技術】FBGは、光ファイバ中を伝搬するいろいろな波長の光のうち、ブラッグ波長と呼ばれるある特定の波長の光を反射する機能をもつ光ファイバである。この性質を利用して、FBGは、圧力センサ、引張力センサ、温度センサなどの検知素子、あるいは光フィルタなどの光通信回路素子、などに使用されている。

【0003】図9にFBGを有する光ファイバを模式的に示す。符号1は光ファイバで、コア2とクラッド3から構成され、その長さ方向の一部にFBG4が形成されている。FBG4は屈折率の高い領域 N_H と低い領域 N_L が光ファイバの長さ方向に交互に形成された構造となっている。FBGの光の透過特性は、ブラッグ波長（反射波長）と反射波長範囲の二つのパラメータで表される。

【0004】FBGでは光ファイバ中を伝搬してきた光のうち、ブラッグ波長を中心にしたある波長範囲の光が反射される。ブラッグ波長 λ_B は、次式のように屈折率 n と格子間隔 d で決まる。

【0005】

$$\text{【数1】} \quad \lambda_B = 2n \cdot d$$

【0006】屈折率 n は実効屈折率といわれ、光ファイバの構造で決まる量であるが、ほぼコア材の屈折率と等しい。また、FBGで反射される光の波長範囲、すなわち帯域幅は、格子の数で決まり、格子の数が多いほど帯域幅は狭くなる。

【0007】光ファイバ1に引張力あるいは温度変化などが加えられると、FBG4のブラッグ波長（反射波長）が変化する。これは引張力あるいは温度変化により屈折率 n 、および格子間隔 d が変化するからである。しかし格子の数は変化しないので反射波の帯域幅は変化しない。

【0008】このようなFBGを圧力センサ、引張力センサなどに応用する場合、従来はブラッグ波長の変化を検知する方法が用いられている。しかしながらこの方法では、ブラッグ波長の変化が、歪みによるものか、温度変化によるものか、区別することができない。このため何らかの温度補償を採用する必要がある。従来の代表的な温度補償方法は、①FBGを2本使用する方法と、②チャープドグレイティング（Chirped Grating）と呼ばれる構造のFBGを使用する方法である。

【0009】図10(a)、(b)は2本のFBGを使用した温度補償方法を示す。図において、1aは第一のFBG4aを有する第一の光ファイバ、1bは第二のFBG4bを有する第二の光ファイバ、5は圧力によってたわむ円板状のダイヤフラム、6はダイヤフラム5の周辺を密封状態に支持する圧力容器、7は加圧流体導入部である。第一のFBG4aは歪みを検知するためのもので、ダイヤフラム5の中心部に直径方向に向けて接着などの手段で固定される。これはダイヤフラム5の中心部が歪みの検知感度が最も大きいからである。圧力容器6内の圧力が高くなってダイヤフラム5がたわむと、それと共に第一のFBG4aが歪み、ブラッグ波長が変化する。一方、第二のFBG4bは温度補償のためのもので、ダイヤフラム5の歪みを検知しない位置（圧力容器固定部）に接着などの手段で固定される。

【0010】上記のような構成にして、温度補償用の第二のFBG4bについては予め温度変化によるブラッグ波長の変化を校正しておく。また歪み検知用の第一のFBG4aについても予め圧力（歪み）と温度変化によるブラッグ波長の変化を校正しておく。このような手続を行っておけば、第一のFBG4aでブラッグ波長の変化を測定したときに、第二のFBG4bで測定した温度変化によるブラッグ波長の変化分を補正することができるので、温度補償された正確な圧力を測定することができ

3

る。ただしこの方法は第一のFBG4aと第二のFBG4bの温度が等しいことが前提となる。

【0011】図11はチャープドグレイティング構造のFBGを示す。図において、1は光ファイバ、2はコア、3はクラッド、8はチャープドグレイティング構造のFBGである。このFBG8は次のようにして製造される。まず、FBGを形成しようとする部分のクラッド3をフッ酸などでエッチングしてテーパ形状に加工する。次に光ファイバ1に一定の引張力を加えて、その状態を保持する。引張力が加わるとテーパ領域では細い部分が太い部分より大きく伸びることになる。この状態で、通常の格子間隔が一定なFBGを形成する。その後、光ファイバの引張力を除去すると、テーパ領域では細い部分が太い部分より大きく縮むので、その結果として、図11のように太い部分から細い部分にかけて格子間隔が徐々に狭くなったチャープドグレイティング構造のFBG8が得られることになる。

【0012】このようなチャープドグレイティング構造のFBG8は、格子間隔の異なるFBG、すなわちブラッグ波長の異なるFBGが連続的につながったものに相当するので、いろいろな波長の光を反射する。つまり反射波の帯域幅が広がっている。このようなチャープドグレイティング構造のFBG8に引張力を加えると、チャープドグレイティング構造のFBGから格子間隔の均一なFBGへと変化する。これに応じて反射波の帯域幅が小さくなる。このとき温度変化が加わったとすると、温度変化はブラッグ波長を変化させるだけで、帯域幅の変化には無関係である。したがってチャープドグレイティング構造のFBGを使用して帯域幅の変化を測定すれば、温度変化とは無関係に歪み（引張力）を測定することができる。

【0013】

【発明が解決しようとする課題】しかし前記①のFBGを2本使用する方法には次のような問題がある。

- ・FBGが2本必要になるため、コストが高くなる。
- ・2本のFBGの接続作業が必要となり、組立工数が増加し、コストが高くなる。
- ・センサシステムの構成の面では、FBGを2本接続して伝送路に挿入するので、伝送損失の増加となる。伝送損失が増加すると、検知光が弱くなるので、SN比が劣化し、測定精度が悪くなる。
- ・多点計測の場合、伝送損失が増加すると、設置できるセンサの数が限られる。このため測定点数が少なくなり、監視範囲が狭くなる。
- ・2本のFBGについて予め校正が必要になる。
- ・實際上、2本のFBGが正確に同一の温度になるわけではなく、温度補償の誤差がともなう。

【0014】また前記②のチャープドグレイティング構造のFBGを使用する方法には次のような問題がある。

- ・FBGを形成するときに光ファイバに張力を印加する

4

必要があり、製造が面倒で、装置も複雑になる。

・光ファイバにテーパ部分を形成する工程が必要であり、このテーパ部分を精密に形成することは容易ではない。またテーパ加工のコストがかかる。

・テーパ部分は細い上に、テーパ加工にともなう強度的な欠陥がガラス表面に不可避免的に発生するため、光ファイバの強度が著しく低下し、取扱いが困難になる。

【0015】本願発明の目的は、以上のような問題点を解決した力学的力センサを提供することにある。

【0016】

【課題を解決するための手段】本発明に係る力学的力センサは、長さ方向の一部に格子間隔の均一なFBGを有する光ファイバと、力学的力が加わると不均一な歪みが発生する部分を有する歪み発生部材とからなり、前記光ファイバのFBGの部分を前記歪み発生部材の不均一な歪みが発生する部分に固定したことを特徴とするものである（請求項1）。

【0017】本発明の力学的力センサにおける、歪み発生部材の不均一な歪みが発生する部分は、力学的力が加わる方向に断面積を変化させたもので構成することができる（請求項2）。

【0018】本発明に係る力学的力センサが圧力センサである場合には、長さ方向の一部に格子間隔の均一なFBGを有する光ファイバと、圧力検知用のダイヤフラムとからなり、前記光ファイバのFBGの部分を、前記ダイヤフラムの不均一な歪みが発生する部分に固定した構成にする（請求項3）。

【0019】また本発明に係る力学的力センサが圧力センサである場合には、長さ方向の一部に格子間隔の均一なFBGを有する光ファイバと、圧力検知用のダイヤフラムとからなり、前記光ファイバのFBGの部分を、前記ダイヤフラムの伸び歪みが発生する部分と縮み歪みが発生する部分にまたがるように固定した構成とすることがより好ましい（請求項4）。

【0020】また本発明に係る力学的力センサは、長さ方向の一部に格子間隔の均一なFBGを有し、FBGを有する区間の断面積が長手方向に変化している光ファイバと、力学的力が加わると均一な歪みが発生する部分を有する歪み発生部材とからなり、前記光ファイバの断面積が長手方向に変化している部分の両側を前記歪み発生部材の均一な歪みが発生する部分に固定した構成とすることもできる（請求項5）。

【0021】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施形態を図面を参照して詳細に説明する。

【実施形態1】図1は本発明の一実施形態を示す。この実施形態は引張力センサである。図において、1は長さ方向の一部に格子間隔の均一なFBG4を有する光ファイバ、11は金属板からなる引張部材（歪み発生部材）である。引張部材11は長さ方向の中間部に幅が徐々に狭く

5

なる部分12を有している。この部分12は、引張部材11が引張力を受けたときに不均一な伸び歪みを発生する。つまり幅が広い部分より幅が狭い部分の方が大きい伸び歪みを発生する。光ファイバ1のFBG4の部分は、引張部材11の幅が徐々に狭くなる部分12に、その長さ方向を引張部材11の長さ方向に向けて、接着などの手段により固定されている。

【0022】この引張力センサは以上のような構成であるから、引張部材11に引張力を加えた場合、幅が徐々に狭くなる部分12は、幅が狭い方ほど大きい伸び歪みが発生するため、そこに固定されているFBG4もそれと同じ伸び歪みが発生することになる。その結果、FBG4は格子間隔が均一な状態から不均一な状態（チャープドグレイディング構造）に変化することになり、反射波の帯域幅は図2に示すように引張力を加える前より加えた後の方が広くなるので、帯域幅を測定することにより引張力の大きさを測定することができる。帯域幅の変化は温度変化とは無関係であるので、この引張力センサを用いれば温度変化の影響を受けることなく引張力を測定することができる。

【0023】次のような構造の引張力センサを試作した。

引張部材11の、板厚=100 μ m

幅が徐々に狭くなる部分12の最大幅=10mm

幅が徐々に狭くなる部分12の最小幅=5mm

材質：ステンレススチール

FBG4の、ブラッグ波長：1.55 μ m

帯域幅：0.2 nm

この引張力センサに引張力を加え、引張力を0~20kgの範囲で変化させた結果、反射波の帯域幅が変化することが分かった。また温度を0℃から40℃まで変化させたが、帯域幅は変化しなかった。

【0024】【実施形態2】図3は本発明の他の実施形態を示す。この実施形態も引張力センサである。図において、1は実施形態1と同じFBG4を有する光ファイバ、13は金属丸棒からなる引張部材（歪み発生部材）である。引張部材13は中心に長さ方向の孔を有し、かつ長さ方向の中間部に外径が徐々に小さくなるテーパ部分14を有している。このテーパ部分14は、引張部材13が引張力を受けたときに不均一な伸び歪みを発生する。つまり外径が大きい部分より外径が小さい部分の方が大きい伸び歪みを発生する。光ファイバ1は引張部材13の中心の孔に、FBG4の部分がテーパ部分14内に位置するように挿通され、引張部材13の内面に接着などの手段により固定されている。このような引張力センサでも実施形態1と同様に引張力を検知することができる。

【0025】なお、上記のような引張力センサを製作する場合には、縦に二つ割りの引張部材13を製作し、その間に光ファイバ1を挟んで接着剤で接着すると、製作が容易である。また図3のタイプの引張力センサは、引張

6

部材13に両端から圧縮力を加えれば、圧縮力センサとしても使用可能である。

【0026】【実施形態3】図4は本発明のさらに他の実施形態を示す。この実施形態は圧力センサである。図において、1は実施形態1と同じFBG4を有する光ファイバ、5は圧力によってたわむ円板状のダイヤフラム（歪み発生部材）、6はダイヤフラム5の周辺を密封状態に支持する圧力容器、7は加圧流体導入部である。この実施形態では、FBG4が、図4(a)、(b)に示すようにダイヤフラム5の中心部から外れた位置に径方向に向けて接着などの手段で固定されている。

【0027】図4(c)はダイヤフラム5に圧力がかかった場合の半径方向の各部における歪みの大きさを示している。ダイヤフラム5はある程度の剛性を有しているため、周辺部が圧力容器6の縁に完全に固定されているため、ダイヤフラム5に圧力がかかった場合のダイヤフラムの表面の歪みは、半径方向のある位置Tを境にして、それより中心寄りでは伸び歪みに、外周寄りでは縮み歪みになる。円板状ダイヤフラムの場合、表面の歪みが伸び歪みから縮み歪みに変わる位置Tは、中心から半径の約0.6倍のあたりにある。

【0028】したがって格子間隔の均一なFBG4を上記の位置Tをまたぐようにダイヤフラム5に固定しておくと、ダイヤフラム5に圧力がかかった場合、FBG4は一端側（ダイヤフラムの中心側）が伸び、他端側（ダイヤフラムの外周側）が縮むことになる。その結果、FBG4の格子間隔が一端側では広くなり、他端側では狭くなるので、FBG4はチャープドグレイディング構造に変化することになる。したがって反射波の帯域幅を測定することにより温度変化とは無関係に圧力の大きさを検知することが可能となる。

【0029】次のような構造の圧力センサを試作した。ダイヤフラム5の、板厚=0.15mm

直径=25mm

材質：ステンレススチール

FBG4の、ブラッグ波長：1.55 μ m

帯域幅：0.2 nm

この圧力センサに圧力を加え、圧力を0から0.3気圧（水柱で換算して3m）変化させたと、反射波の帯域幅は約2nmになった。また温度を室温から約40℃変化させたが、帯域幅の変化はなかった。

【0030】【実施形態4】図5は本発明のさらに他の実施形態を示す。この実施形態は引張力センサとしても、曲げ応力センサとしても使用可能である。図において、1は実施形態1と同じFBG4を有する光ファイバ、15は金属角棒からなる引張部材（歪み発生部材）である。引張部材15は長さ方向中間部に長さ方向と直交する方向に溝16を形成して、その部分の断面積を小さくしてある。したがって引張部材11が引張力を受けたときには、溝16の部分はそれ以外の部分より大きい伸び歪みを

発生することになる。光ファイバ1は、FBG4の半分が溝16の開口区間内にあり、残りの半分が引張部材15上にあるように配置されている。光ファイバ1は、溝16の両側で引張部材15に接着などの手段により固定されている。

【0031】このような構成にすると、引張部材15に引張力がかかった場合、FBG4は、引張部材15に固定されている部分はほとんど伸びずに、溝16の開口区間内にある部分が大きく伸びる。したがってFBG4のブラッグ波長は図6のように二つに分かれるが、引張力を帯域幅の広がりとして検知できることは前記実施形態と同様である。なおこの実施形態のセンサは、引張部材15に図5(b)の矢印P、Q方向の力を加えた場合には、曲げ応力センサとしても使用可能である。

【0032】【実施形態5】図7は本発明のさらに他の実施形態を示す。この実施形態は、引張部材15の長さ方向中間部に溝16を形成し、FBG4が溝16の両側にまたがるように配置してFBG4の両端部を溝16の両側で引張部材15に接着固定したものである。このような構成でも実施形態4と同様な効果を得ることができる。

【0033】【実施形態6】図8は本発明のさらに他の実施形態を示す。この実施形態は引張力センサである。図において、1は光ファイバ、2はコア、3はクラッド、4は長さ方向の一部に形成された格子間隔の均一なFBG4である。FBG4を含む区間のクラッド3はフッ酸などでエッチングしてテーパ状に加工されている。17は長さ方向に断面積の均一な金属棒または金属板からなる引張部材（歪み発生部材）である。光ファイバ1はテーパ部分18の両側が引張部材17に接着などの手段により固定されている。

【0034】このような構成にすると、引張部材17に引張力が加わった場合、引張部材17には長さ方向に均一な伸び歪みが発生するが、光ファイバ1のテーパ部分18では外径が小さい方ほど大きい伸び歪みが発生する。このためFBG4は、格子間隔が均一な状態から不均一な状態（チャープドグレイティング構造）に変化することになり、帯域幅を測定することにより引張力の大きさを測定することができる。

【0035】

【発明の効果】以上説明したように本発明によれば、1本のFBGで温度変化の影響を受けることなく力学的力を検知できると共に、FBGとしては格子間

隔の均一なものを使用できる。このため従来のFBGを2本使用する場合の問題点やチャープドグレイティング構造のFBGを使用する場合の問題点を解消することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明に係る引張力センサの一実施形態を示す、(a)は平面図、(b)は正面図。

【図2】 図1の引張力センサのFBGの反射波の波形を示すグラフ。

10 【図3】 本発明に係る引張力センサの他の実施形態を示す斜視図。

【図4】 本発明に係る圧力センサの一実施形態を示す、(a)は平面図、(b)は(a)のb-b線断面図、(c)はダイヤフラムの歪みのグラフ。

【図5】 本発明に係る引張力センサのさらに他の実施形態を示す、(a)は平面図、(b)は(a)のb-b線断面図。

【図6】 図5の引張力センサのFBGの反射波の波形を示すグラフ。

20 【図7】 本発明に係る引張力センサのさらに他の実施形態を示す、(a)は平面図、(b)は(a)のb-b線断面図。

【図8】 本発明に係る引張力センサのさらに他の実施形態を示す断面図。

【図9】 FBGの構造を示す断面図。

【図10】 従来のFBGを用いた圧力センサを示す、(a)は平面図、(b)は(a)のb-b線断面図。

【図11】 チャープドグレイティング構造のFBGを示す断面図。

30 【符号の説明】

1：光ファイバ

4：FBG（光ファイバブラッグ回折格子）

5：ダイヤフラム

6：圧力容器

11：板状の引張部材

12：幅が徐々に狭くなる部分

13：丸棒状の引張部材

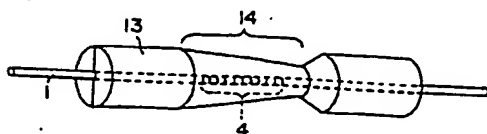
14：テーパ部分

15：角棒状の引張部材

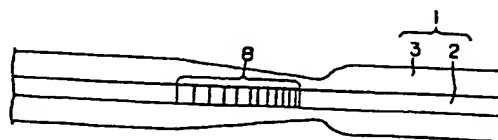
16：溝

17：断面積の均一な引張部材

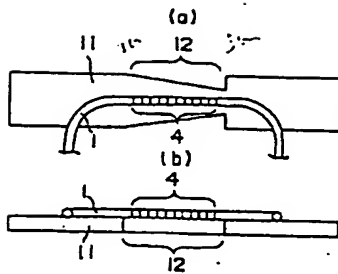
【図3】



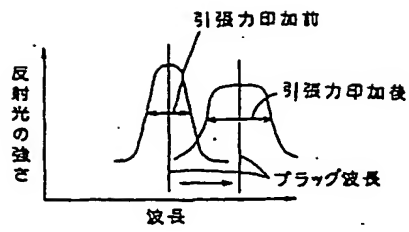
【図11】



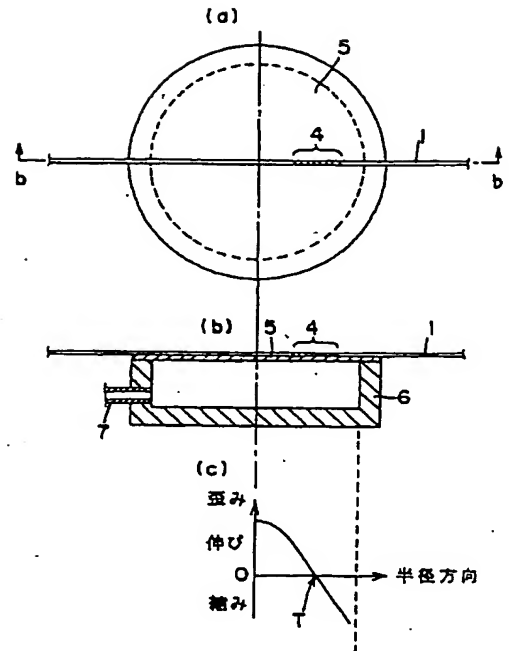
【図1】



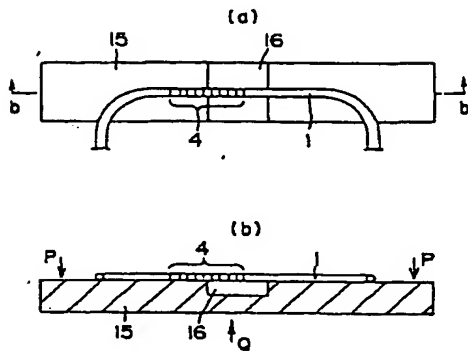
【図2】



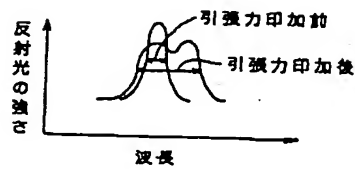
【図4】



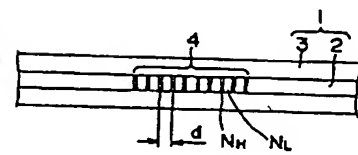
【図5】



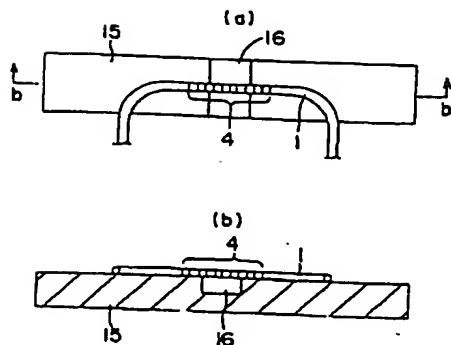
【図6】



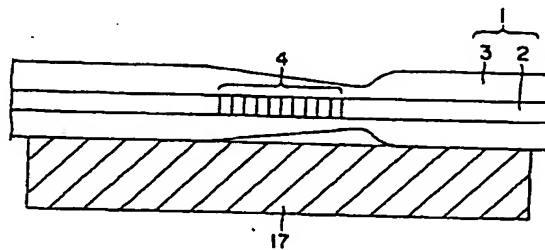
【図9】



【図7】



【図8】



【図 10】

